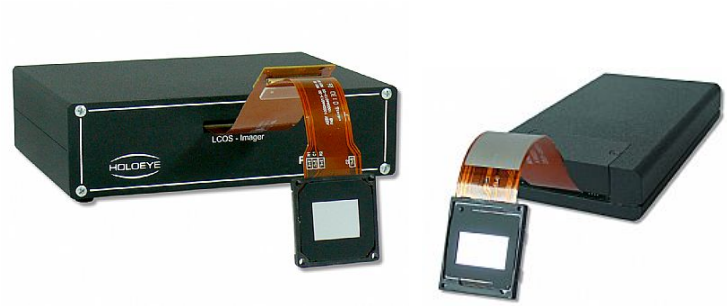
德国 Holoeye 高精度纯相位空间光调制器

德国 Holoeye 产品主要为 LCOS 面板，空间光调制器和衍射光学元件。主要应用、成像&投影、光束分束、激光束整形、相干波前调制、相位调制、光学镊子、全息投影、激光脉冲整形等。主要目标客户为航空航天，国防工业和汽车的科研和大规模工业应用领域。



德国 HOLOEYES 公司生产的空间光调制器（SLM）是基于液晶微显示技术，该器件能对光的振幅和位相进行调制，特别是作为动态光学器件使用。需要加载到调制器上的光学传递函数或图像信息可直接由光学设计软件生成，并直接可以通过计算机加载。由于调制器智能的系统体系结构，使得用户操作非常便捷，而且调制信息可直接通过计算机图形显卡的 DVI 或 VGA 接口加载。

此空间光调制器最大的潜力在于，它可以作为动态相位调制器用于电寻址衍射元件中。除了在显示方面的应用，特别是在激光应用方面也很大的空间，如：衍射光学、生物光子学和医疗激光应用材料加工。在用相位调制进行强激光脉冲整形方面是此类 SLM 的主要应用和挑战。然而实现一个无运动的变焦仍然是 SLM 的目标。

空间光调制器是实时光学信息处理，自适应光学和光计算等现代光学领域的关键器件。在很大程度上，空间光调制器的性能决定了这些领域的实用价值和发展前景。

HOLOEYES 的调制器可以直接通过显卡的 DVI 接口连接到计算机上。空间光调制器能如此方便使用离不开在 windows 平台上的灵活高效的帧速率图形卡。该空间光调制器由 HOLOEYE 软件驱动，该软件可工作在所有版本的 windows 操作平台上。该软件能方便的控制所有相关的图像参数，另外，精心设计的空间光调制器软件能实现多种光学函数，像，光栅、透镜、轴锥体和光圈，并且能够根据用户设定的图像设计衍射光学器件（DOE）。完整的套件包括调制器、视频分配器和图像处理的所有相关器件。由于它小的尺寸，可以容易的被集成到光学系统中。为保证器件的光学质量（如：相位调制），HOLOEYE 对每个器件都进行了测量。

Rayscience Optoelectronic Innovation Ltd
Tel：86 21 34635258/59/61/62　Fax：86 21 34635260
Mail: saleschina@rayscience.com

空间光调制器知识

1. 概述

空间光调制器，英文名称是 Spatial Light Modulator，即 SLM。顾名思义,它是一种对光波的空间分布进行调制的器件。一般地说，空间光调制器是指在信号源信号(控制信号)控制下，能对光波的某种或某些特性(如相位、振幅或强度、频率、偏振态等)的一维或二维分布进行空间和时间的变换或调制,从而将信源信号所荷载的信息写进入射光波之中的器件。控制信号，可以是电信号，也可以是光信号。

空间光调制器含有许多独立单元，它们在空间上排列成一维或二维阵列。每个单元都可以独立地接受光学信号或电学信号的控制，利用各种物理效应(泡克尔斯效应、克尔效应、声光效应、磁光效应、半导体的自电光效应、光折变效应等）改变自身的光学特性，从而对照明在其上的光波进行调制。

2. SLM 分类

一般按照读出光的读出方式不同，可以分为反射型和透射型；

按照输入控制信号的方式不同又可分为光寻址(OA - SLM) 和电寻址(EA - SLM)。

3. 液晶空间光调制器

目前液晶空间光调制器在空间光调制器中已经占有主导地位。它可对光束的相位、偏振态、振幅或强度进行一维或二维分布的实时空间调制。典型的液晶空间光调制器有硫化镉(CdS) 向列型液晶光阀。

LC-SLM,用于光电导材料有 Cd、α-Si、c-Si、GaAs、Bi12SiO20 等半导体。液晶材料采用扭曲向列型 TN(Twisted Nematic）、铁电液晶 FLC 等。

硅基液晶（Liquid Crystal on Silicon）简称（LCOS），是一种全新的数码成像技术。采用半导体 CMOS 集成电路芯片作为反射式 LCD 的基片，CMOS 芯片上涂有薄薄的一层液晶硅，控制电路置于显示装置的后面，可以提高透光率，从而实现更大的光输出和更高的分辨率。LCOS 技术最大的优点是分辨率高。

4. DMD 与 SLM 差异

DMD 作为 DLP 芯片，首先由 TI 开发，原来称作变形反射镜器件(Deformable mirror device)，系一种极小的反射镜，这些微镜皆悬浮着并可向两侧倾斜 10-12° 左右，从而可构成启通和断开两种工作状态。为获得不同的亮度，微镜启通和断开的速率可以改变。DLP 的生产厂家主要为欧美厂商，如 ASK、惠普、丽讯等。

LC-SLM 具有高精度，高分辨率；

一般 DMD 精度较差，衍射效率低，但帧率较高，可用于强度调制；DMD 作为投影仪芯片，成本低廉；

高分辨的 Deformable Mirror 在自适应光学中也有着广泛应用，如 ASOM。

5.Holoeye 产品系列概述

分类：反射型，Pluto，LC-R2500，LC-R720 etc

透射性，LC-2002

安装要求：

显示卡另带 DVI 接口,通讯控制接口根据型号选择 USB 或 COM,电脑显示屏分别率一般应高于 LCOS 面板分别率。

安装特点：

简单方便，软件界面友好

提供应用软件，可直接对像元进行灰度控制

提供标定软件，以计算出准确的全息图

应用软件包含常规的全息光栅图及函数

操作注意事项：

静电保护 环境要求 断电状态下连接

Rayscience Optoelectronic Innovation Ltd
Tel：86 21 34635258/59/61/62 Fax：86 21 34635260
Mail: saleschina@rayscience.com

PLUTO 高精度纯相位空间光调制器系统 NEW!

有效面积	15.36mm×8.64mm
像素数	1920×1080
调制器光学头类型	反射式
相位变化范围	2π弧度@420-850nm
像素间距	8um
图像帧速率	60 Hz
工作光谱范围	可见光（420-850nm）
填充因子	87%
调制类型	纯相位调制
标准附件	高精度纯相位 LCOS 显示面板、数模转换驱动、电源、DVI 数据线、RS232 数据线、用户使用手册、驱动和应用软件、PCI 卡，带 2 个 DVI 接口
应用领域	显示应用、成像&投影、光束分束、激光束整形、相干波前调制、相位调制、光学镊子、全息投影、激光脉冲整形等。

Rayscience Optoelectronic Innovation Ltd
Tel：86 21 34635258/59/61/62　Fax：86 21 34635260
Mail: saleschina@rayscience.com

OEM 微显示器的组成：New!

与几个微型显示器制造商的加强合作，让 HOLOEYE 能提供多种的微型显示器并满足顾客的各种要求。例如：技术方面（透、反射式），LC 模块（扭曲向列、VAV、铁电性），分辨率、像素大小和用户对信号源的要求（视频、VGA、DVI），帧速率，光源或者几何尺寸，HOLOEYE 为每一款 OEM 的应用提供最优的方案。

HOLOEYE 相位显示器(与显示器生产商 AURORA 联合开发)由于其电控双折射性质（ECB），使其得到广泛的应用，它能提供 2 的纯位相调制。应用范围从全息、光刻、光学干涉计量、光镊子、波前校正到相位调制。显示器高的填充率也保证了高光效率。

应用领域：	微显示器特征：
相位调制 LCOS	显示类型：反射式
全息应用控双折射	显示模式：ECB 电
光刻应用 1080(WUXGA)	分辨率：1920×
光学计量干涉 2	位相改变：1064nm—
光网络应用	动态范围：8 bit
全息安全系统	帧速率：60Hz
波前校正和 0.7″	面板尺寸：0.97″
光镊	极化率：＜1%

空间光特性：

高的填充率的高光效率

波长范围：420nm—1064nm

延伸波长：高达 1550nm

纯相位调制

其他属性：

用户订制的显示开发

提供用户可用的图形接口

可随意显示大小和 gamma 曲线

用户可扩展性

Rayscience Optoelectronic Innovation Ltd
Tel：86 21 34635258/59/61/62　Fax：86 21 34635260
Mail: saleschina@rayscience.com

型号对比表

型号	LC 2002	LC-R 720	LC-R 2500	HEO 1080P	PLUTO
类型	透射式	反射式	反射式	反射式	反射式
调制	相位兼强度调制	相位兼强度调制	相位兼强度调制	纯相位调制	纯相位调制
工作波长	可见光	可见光	可见光	820 to 1100 nm 通讯波段(1550 nm)	可见光(420 - 850 nm) 近红外(850-1100 nm) 通讯波段(1550 nm) 三种可选
像素	32 µm	20 µm	19 µm	8.0µm	8.0 µm
分辨率	800 x 600	1280 x 768	1024 x 768	1920 x 1080	1920 x 1080
相位范围	2π@ 532 nm	1π	2π	2π@1550 nm	2π@1550 nm
衍射效率	—	60%	>75%	60%	60%
填充因子	55%	92%	93%	>87%	87%
动态范围 (对比度)	1000:1@633nm	1000:1(标准)	1000:1@532 nm	1000 :1	1000 :1
帧频	60 Hz	高达 180 Hz	72 Hz	60 Hz	60 Hz
响应时间	—	< 3ms	16ms	<1ms	<1ms
最大光强	< 2 W/cm^2	< 2 W/cm^2	< 2 W/cm^2	< 2 W/cm^2	< 2 W/cm^2

典型客户及应用名单：

序号	合同签定时间	用户名单	应用
1	2009 年 3 月	上海大学	全息投影
2	2009 年 2 月	中国科学技术大学	激光光镊技术
3	2008 年 12 月	南开大学	自适应光学
4	2008 年 10 月	天津大学	飞秒光束整形
5	2008 年 7 月	华东师范大学	二维光阱

其他用户：中科院物理所,长春光机所,中国科学技术大学,天津大学,华东师范大学,南开大学 ,北京工业大学,大连理工大学,北京理工大学,首都师范大学,华南师范大学等等。

Rayscience Optoelectronic Innovation Ltd
Tel：86 21 34635258/59/61/62 Fax：86 21 34635260
Mail: saleschina@rayscience.com

常见问题 FAQ:

1 问：有那些用户在使用 Holoeye 空间光调制器？

答：我们的客户遍及世界很多国家和地区,Holoeye 的空间光调制器在全世界有着广泛的应用,您可以找到很多用 Holoeye 的空间光调制器的应用论文。在国内知名用户有中科院物理所,长春光机所,中国科学技术大学,天津大学,华东师范大学,南开大学 ,北京工业大学,大连理工大学,北京理工大学,首都师范大学,华南师范大学等等。

2 问：Pluto 对波长 650 纳米的激光校准，即上载一幅灰度值在 0-255 之间的图，施加的相位调制对应在 0-2pi 之间。 如果改用波长 532 纳米的激光，上载灰度值范围为多少时，可以达到 0-2pi 之间的相位调制。

答：若改用 532nm 激光，相位调制范围比 650nm 会大些。一般来说,SLM 相位调制范围在短波长上会增加。

3 问：说明书中提到相位校准过程中要加入起偏器和检偏器，请问 SLM 使用中是否要还要加入起偏器和检偏器？

答：正常使用中也需要加入起偏器和检偏器。并且，一般要求起偏器的偏振方向与 SLM 微显示板的长边方向一致，基本不影响入射偏振态，达到只改变相位的目的。

4 问：入射光束和 SLM 法线的夹角有何限制，最大夹角大约为多少？

答：入射角度一般控制在 6 度以内，对相应偏振光的影响较小。

5 问：SLM 调制时有时中心光斑仍比较强，导致衍射效果变差，请问何种原因？如何消除？

答：一般来说，衍射效果受填充因子和入射偏振态影响。使用中，应通过插入起偏器和检偏器来消除非相干光的影响。

6 问：Holoeye 空间光调制器使用中应注意哪些问题？

答：一、防静电措施，特别是安装液晶显示面板时，应带防静电手套，防静电手腕；二、液晶显示面板与控制器之间的连线，应避免频繁插拔；三、空间光调制器部件的连接，应在断电状态下进行；四、使用环境，应避免高温、高湿，并保证一定的洁净度。

7 问：Holoeye 空间光调制器能否用于脉冲光？

答：Holoeye 空间光调制器可用于飞秒脉冲整形,具体损伤阈值取决于脉冲能量,重复频率、光斑大小等。一般连续光功率密度为 2W/cm2,制冷状态下可承受更高功率。

8 问：Pluto 系列的响应时间？

答：VIS: ~25ms；NIR: ~30ms；TELCO:~ 40ms。

9 问：SLM Pluto 和 HEO 1080P 的区别？

答：Pluto 与 1080P 采用相同的液晶显示面板，但 Pluto 的控制器体积小，是厂家改进的型号。而 HEO 1080P 多应用于多通道情况。

10 问：LC-R2500 等型号对微机系统有什么具体要求？

答：目前的 PC 配置一般都能满足要求，值得一提的是，显示器分辨率最好不小于 SLM 液晶显示面板的分辨率。另外，Pluto 配有显卡，而 LC-R2500 系统不配显卡，需要单独购买，国内市场有售，显卡要求应具有两个接口，一般是选择 VGA 和 DVI 接口（DVI 接口连接 SLM 控制器,VGA 连接电脑显示器）；Holoeye 提供的显卡，接口类型可以根据客户电脑显示器要求选择。

11 问：Holoeye 空间光调制器有那些应用？

答：主要应用、成像&投影、光束分束、激光束整形、相干波前调制、相位调制、光学镊子、全息投影、激光脉冲整形等。

Rayscience Optoelectronic Innovation Ltd
Tel：86 21 34635258/59/61/62 Fax：86 21 34635260
Mail: saleschina@rayscience.com

12 问：我没有用过 Holoeye 空间光调制器，不知道能不能使用试用呢？

答：我们在上海的实验室建有演示实验室，欢迎您参观试用 Pluto 空间光调制器，对于需要现场测试的，我们会综合考虑后安排人员现场试验。

13 问：SLM 分类？

答：分类：反射型, Pluto, LC-R2500, LC-R720 etc

透射性，LC-2002

Rayscience Optoelectronic Innovation Ltd
Tel：86 21 34635258/59/61/62 Fax：86 21 34635260
Mail: saleschina@rayscience.com

附 1：

液晶空间光调制器及其应用

王康俊 上海瞬渺光电技术有限公司，上海 201108

空间光调制器是一种对光波的光场分布进行调制的元件，广泛地应用于光信息处理、光束变换、输出显示等诸多应用领域。液晶空间光调制器(SLM)以制作简单，价格低，耗能低，易控制，易制成二维器件，且易构成并行光学信息处理器件等优点，倍受国内外研究学者的关注。液晶空间光调制器又称光学快门阵列(OSAs)，它将液晶层作为光调制材料，液晶层采用向列型液晶的混合场效应工作模式，在晶层上各区域施加不同的电场,可以引起液晶分子排列方向和位置的变化,从而导致其光学性质的变化,实现对光信号的调制。本文简要介绍了Holoeye的液晶空间光调制器，并列举其目前在光镊技术、螺旋位相相衬成像、飞秒脉冲整形、自适应光学、光学投影等方面的应用。

Holoeye的空间光调制器主要是基于透射或反射类型的液晶微显示技术,通过液晶分子的旋光偏振性和双折射性来实现入射光束的波面振幅和相位的调制（如图1），可作为动态光学元件，实时地调制光强和相位的空间分布。Holoeye SLM系列产品一般可分为相位型、振幅型和振幅相位复合型。纯相位型调制范围都可达2π以上，振幅型对比度典型值为2500:1，LC-R 1080可达10000:1。Holoeye SLM系列产品分辨率高，像素单元小，填充因子高，衍射效率高，这样，实际应用中可获得高精度的波前控制。同时，帧频可达到180Hz，有利于实时控制。Holoeye还提供了良好的软件控制界面，通过灰度图象控制SLM面板像素单元对应的相位或振幅。目前，Holoeye的空间光调制器已在许多领域得到应用，下面仅作一些简单的介绍。

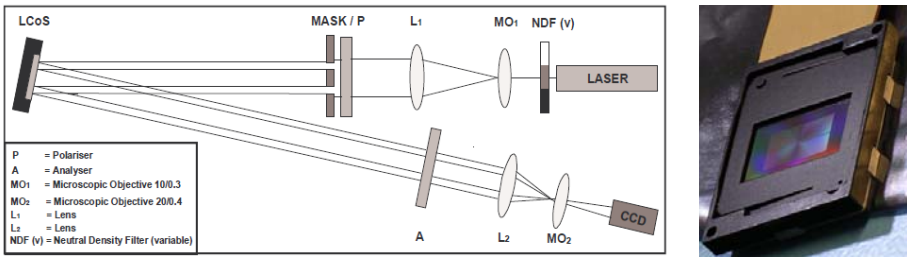


图1 相位调制特性测量示意图

Locs即SLM,空间光调制器，P=起偏器 A=检偏器 MO=显微物镜 L1,L2=透镜 NDF=中性密度滤光片 Mask=掩模板 Laser=激光器

全息光镊

光镊技术是利用光的力学效应实现对微观粒子的操控，具有非接触、无损伤特性，在分子生物学、胶体科学、实验原子物理等领域中具有极其重要的作用，光镊本身也不断发展并产生许多衍生光镊技术。利用全息元件或空间光调制器（SLM）所形成的全息光镊，在多粒子操控方面的优势，为光镊技术走向实用化、规模工业生产打开了新局面，是目前光镊家族极具活力的成员。

利用空间光调制器，可以灵活地实现光束的变换，获得所需的阱域分布。所谓阱域，就是具有高梯度光强分布的区域，该区域可形成对微粒的三维束缚（如图2）。Andreas.H等的实验装置中[1)]，采用了Holoeye HEO 1080P II SLM，其分辨率为1920×1080，像元大小8um。该实验中，

为解决一般光镊系统高数值孔径物镜带来的短工作距离问题，设计出Twin双光束技术，即另一部分光通过载波片的反射，形成与原会聚光对应的反向会聚光。这样，可以减小散射光的影响，提高轴向作用力，在低数值孔径物镜下也可形成光阱。另外，通过SLM可以产生多个阱域[2, 3]，实现多粒子的操控，并且还可用于微粒间相互作用力的测量。值得一提的是，利用SLM可将基模Gaussian光束转换成Laguerre-Gaussian光束，由于Laguerre-Gaussian具有轨道角动量，可以实现对微粒的旋转操控，该研究引起了广泛的兴趣[4]。

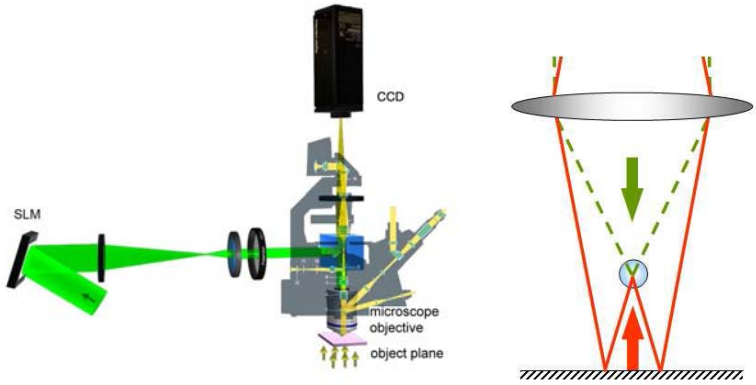


图2 Twin光阱全息光镊装置

microscope objective=显微物镜 Object plane=物平面

螺旋位相相衬成像

在光学显微镜中，暗场或相衬方法常被用来提高物体成像的对比度。实质上，这些方法都可看作是傅立叶平面上的光学滤波。类似于微分干涉相差显微技术，螺旋位相相衬法也是利用对相移的敏感性来提高成像的清晰度，特别是边缘。由于光束的对称性，还可以对各向均匀介质物体成像进行对比增强。并且，较传统相差显微成像，边缘对比度要提高几个量级。如图3，Severin.F等采用了Holoeye 3000反射型SLM，分辨率1920×1080，像元大小10um。通过它产生闪耀光栅执行滤波处理[5]。这里，进行螺旋相位滤波的全息光栅，中心有一个分叉，对应于位相不连续奇点。

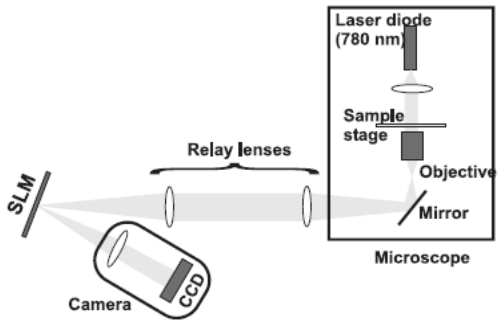


图3 螺旋位相光束在成像中用于提高边缘对比度的实验装置

Laser diode=激光二极管，Sample stage=样品台，Objective=物镜，Mirror= 反射镜，Microscope=显微镜，Relay lenses=中继镜，camera=相机

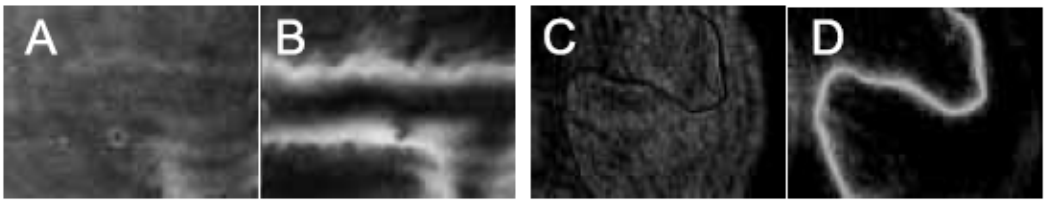


图4 相位物体的对比增强。A-C为明场成像，B-D为螺旋位相滤波成像

飞秒脉冲整形

飞秒脉冲整形的基本原理是频域和时域是互为傅里叶变换的，所需要的输出波形可由滤波实现。图5是脉冲整形的基本装置[6]，它是由衍射光栅、透镜和脉冲整形模板组成的4f系统。超短激光脉冲照射到光栅和透镜上被色散成各个光频成份。在两透镜的中间位置上插入一块空间模式的模板或可编程的空间光调制器，目的是调制空间色散的各光频成份的振幅和位相遥，光栅和透镜看作是零色散脉冲压缩结构。超短脉冲中的各光频成份由第一个衍射光栅角色散，然后在第一个透镜的焦平面聚焦成一个小的、衍射有限的光斑。这里的各光频成份在一维方向上空间分离，在光栅上从不同角度散开，在第一个透镜的后焦平面上进行了空间分离，第一个透镜实现了一次傅里叶变换。第二个透镜和光栅把这些分离的所有频率成份重新组合，这样就得到了一个整形输出脉冲，这个输出脉冲的形状由光谱面上模板的模式给出。

这里，E.Frumker 等只使用了一个透镜和光栅进行脉冲整形。其中，SLM 为 Holoeye HEO 1080P，承受功率密度可大于 2W/cm^2。在制冷的状态下，可进一步提高光功率。

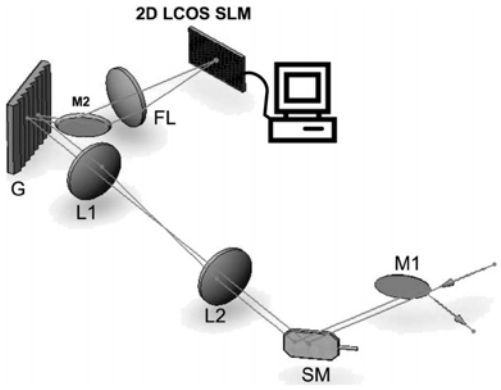


图5 飞秒脉冲整形实验光路图

FL=聚焦透镜，M1,M2=反射镜，G=光栅，SM=扫描镜，L1,L2=透镜

自适应光学

自适应光学技术，是一种能够实时校正光学系统随机误差并使系统始终保持良好工作性能的新技术，早期在天文观测中是用来修复大气湍流等因素对光波波前的扭曲，通过动态地对波前误差的实时探测-控制-校正，来改善成像质量。目前，在眼底视网膜成像、大视场显微成像等方面也得到应用。自适应光学系统中，关键部件是哈特曼波前传感器与变形镜[7]或空间光调制器（图6）。

另外，SLM还可用来模拟大气扰动，为实验室里研究大气中光学成像提供有力支持[8]。

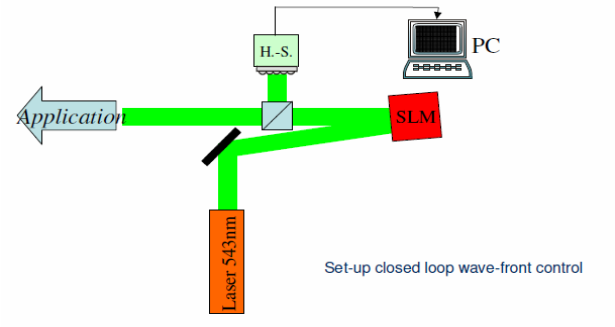


图6 光波前闭环控制示意图

H.-S.波前探测器，set-up closed loop wave-front control 闭环波前控制

光学投影

光学投影，特别是三维成像，可以利用空间光调制器通过全息计算生成。Alexander.J认为物光的复振幅光场由两个相位衍射模式P1,P2组成[9]，分别处于4f系统中的两个共轭平面上，P1通过跌代优化建立傅立叶平面上的振幅分布，P2用来建立所需要的相位分布函数。如图7，P1，P2都是由Holoeye HEO 1080 SLM来完成，凹面反射镜类似透镜作用进行傅立叶变换。实验上，建立了一个Logo图象。与一般衍射元件相比较，SLM可以对成像方便地进行优化处理。

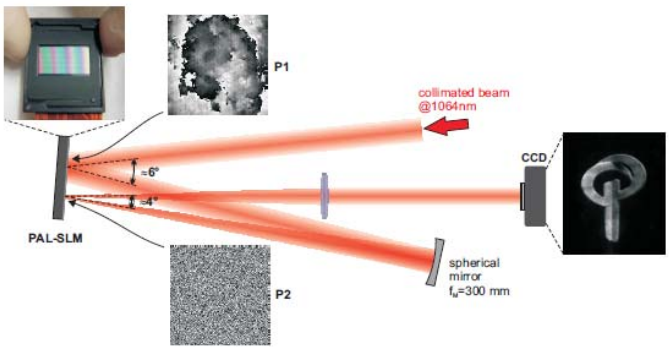


图7 图象的全息重建实验示意图

Collimated beam@1064nm=1064nm准直光束, Spherical mirror=球面反射镜

液晶空间光调制器，由于具有线形度好、分辨率高、响应速度快、可编程性强等优点，不仅在上述领域中得到广泛应用，而且还可应用于光相关处理[10]、光束空间整形[11]、激光打标或扫描[12]、全息测量[13]，并且，随着加工工艺的提高和成本的降低，将会在更多的领域发挥其优势。

参考文献：

1） Andreas H, “Holographic optical tweezers with real time hologram calculation using a phase-only modulating Lcos-Based SLM at 1064nm”, Proc. SPIE, Vol. 6905(2008)

2） Roberto D L, “Computer generation of optimal holograms for optical trap arrays”, Vol.15, No.4, Optics Express, 1913-1922(2006)

3） Jennifer E G, “Dynamic holographic optical tweezers’, Optics communication, Vol.207, 169-175(2002)

4） L Allen, “Optical tweezers and optical spanners with Laguerre-Gaussian modes”, Journal of Modern Optics, Vol.43, No.12, 2485-2492(1996)

5） Severin F, “Spiral phase constract imaging in microscopy”, Vol. 13, No.3, Optics Express,

689-694(2005)

6） E.Frumker, “Femtosecond pulse shaping using a two-dimensional liquid-crystal spatial light modulator”, Optics Letters, Vol.32, No.11, 1384-1386(2007)

7） Michael W, “Adaptive optical imaging correction using wavefront sensors and micro mirror arrays”, Photonik international 2008/1, 46-49

8） Liesi B, “Simulating atmospheric turbulence using a phase-only spatial light modulator’, South African Journal of Science 104, 129-133(2008)

9） Alexander J, “Near-perfect hologram reconstruction with a spatial light modulator”, Vol.16, No.4, Optics Express, 2597-2603(2008)

10）胡文刚等,”在光学相关器中测试滤波空间光调制器的相位调制特性”,光子学报,Vol.36,No.9, 1602-1605（2007）

11）陈怀新等,”采用液晶空间光调制器进行激光光束的空间整形”,光学学报,Vol.21,No.9,1107-1111 (2001)

12）Pierre M L, “Fiber-opitc confocal microscopy using a spatial light modulator”, Optics Letter, Vol.25, No.24, 1780-1782(2000)

13）Kiyofumi Matsuda, “Holographic vibration measurements of rough surfaces using a LCSLM”, Optics Communications, Vol.275, Issue 1, 53-56(2007)

此外我们还准备了很多相关文献供您下载